

## 慣性センサによる重心位置推定とその運動評価への 応用に関する研究

著者	武田 優帆
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	88
号	1
ページ	352-353
発行年	2019-07
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00126700">http://hdl.handle.net/10097/00126700</a>

修士学位論文要約（平成31年 3 月）

# 慣性センサによる重心位置推定とその運動評価への応用に関する研究

武田 優帆

指導教員：渡邊 高志

## A Study on Estimation of Center of Mass Trajectory Using Inertial Sensors and Its Application to Movement Evaluation

Yuho TAKEDA

Supervisor: Takashi WATANABE

It is necessary to control a motion of Center of Mass (CoM) to realize walking. It is expected that CoM trajectory makes possible to evaluate moving ability since CoM has been shown to reflect asymmetry of motion, energy cost and ground reaction force (GRF). This study aimed at developing a method of estimating CoM trajectory from signals measured with inertial sensors and examining the possibility of applying the estimated CoM trajectory to movement evaluation. At first, attachment positions of inertial sensors were determined. Next, estimation accuracy of CoM trajectories was tested, in which CoM trajectories during movements with fixed feet were well estimated, whereas those during gait caused large estimation error. From these results, it was shown to be necessary to improve estimation accuracy of feet trajectories. Therefore, possible reasons of causing error of feet trajectories were examined experimentally and theoretical limitation of its estimation accuracy was calculated through computer simulation. Then, the possibility of applying CoM trajectory for movement evaluation was discussed using data measured with healthy subjects in 16m walking. It was suggested that shape of trajectory, amplitude of change of CoM position in the vertical direction and peak value of ground reaction force calculated from CoM position became useful to evaluate walking movements.

### 1. 序論

歩行は体重心の上下左右および進行方向への移動を伴うため、体重心の制御能力が必要不可欠である。体重心位置は、運動の非対称性や床反力との関連性が報告されており [1, 2], 体重心位置情報の利用は運動能力の定量的な評価につながると期待される。そこで本研究では、これまで我々の研究グループで開発を進めてきた慣性センサを用いた運動計測法を応用して体重心位置軌跡を簡便に推定する方法を確立し、推定した体重心位置軌跡の運動評価への応用可能性を検討した。

### 2. 提案する体重心位置軌跡推定法

本研究で提案する体重心位置推定法では、図 1 に示すように、両足部、両下腿部、両大腿部、体幹部の 7 か所に慣性センサを装着し、計測した信号から各部位の姿勢を表す姿勢ベクトル、および足部位置軌跡を算出する。そして、足部位置を起点として姿勢ベクトルを組み上げ、身体各部の重心位置を求め、それらから体重心の位置を算出する。

### 3. 大腿部・体幹部のセンサ装着位置の検討と体重心位置軌跡推定精度の検証

予備実験の結果から、大腿部と体幹部のセンサ装着位置を再検討する必要性が示されたため、3 次元動作解析装置をリファレンスとして、健常者

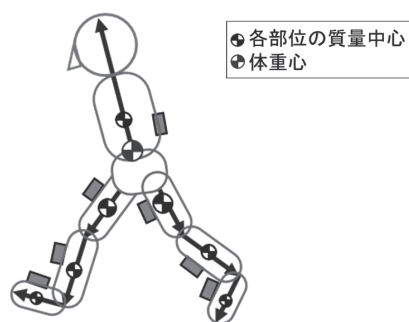


図 1 体重心位置の推定

で歩行実験を行った。その結果、大腿部は外側面に装着した場合に筋の動きの影響が小さくなり、体幹部は上部に装着した場合に左右の動きが検知しやすくなることを確認した。

この結果を踏まえ、健常者 6 名 (22～23 歳) で立位で身体を左右に揺らす動作 (立位動揺)、立位で身体を前後左右に回す動作 (立位旋回)、約 3.5m の直線歩行を計測し、体重心位置軌跡を推定した。その結果、立位動揺、立位旋回の主動作成分と直線歩行の前後成分と鉛直成分では概ね相関係数が 0.8 以上、NRMSE が 10% 以下の精度が得られ、

運動評価へ適用可能であると考えられた。一方、直線歩行の左右成分では誤差が大きくなった。直線歩行の体重心位置軌跡の左右成分の誤差と足部位置軌跡の左右成分の誤差との間に正の相関が見られたことから、左右成分の歩行評価への適用のためには、足部位置軌跡の推定精度の向上が課題であることが示された。

#### 4. 足部位置軌跡の誤差要因と誤差限界値の検討

足部位置軌跡の誤差要因を検討するため、健康者 1 名 (23 歳) で直線歩行を計測した。初めにセンサ座標系をグローバル座標系に変換する座標変換行列に着目し、その誤差と足部位置軌跡の誤差の関係を確認した。その結果、足部位置軌跡の左右成分の誤差と座標変換行列の  $R_{11}$  成分の誤差に正の相関が見られ、さらに  $R_{11}$  成分の推定誤差と初期値の誤差に正の相関が認められた。このことから、初期値の推定を正確に行うことが有効であると考えられ、そのために、計測機器の追加を含め、クォータニオンの推定法について検討が必要であると考えられた。

次に、積分による蓄積誤差に着目しシミュレーション実験を行ったところ、0.5~3cm の誤差が生じ、この誤差が積分操作による推定誤差の限界値であることが示唆された。この誤差を体重心位置軌跡の誤差に換算すると 0.85~2.3cm 程度となり、直線歩行中の体重心の左右成分の動作範囲は 10cm 程度であるため、運動評価へ適用するためには誤差を限りなく限界値に近づける必要があると考えられた。しかし、座標変換行列の算出には課題が残っているため、現状では左右成分の運動評価への適用は難しいと考えられた。

#### 5. 算出した体重心位置を利用した運動評価への応用可能性の検討

健康者 4 名で 3 段階の歩行速度 (slow, normal, fast) で 16m の直線歩行計測を行い、定常歩行を行っている区間の体重心位置軌跡について、運動評価への応用可能性を検討した。その結果、軌跡の鉛直成分の振幅は全被験者で速度の増加に伴い振幅も増大するという共通の傾向が見られた。また、左下肢の初期接地を基準とする 1 ストライド中の鉛直成分の軌跡について、図 2 に示すように、重心鉛直位置の上昇を山型と直線型におおまかに分類できることを確認した。そこで、体重心の鉛直位置と下肢の運動の関係を調査したところ、体重心を挙上する際に、山型に分類される被験者は膝関節の動きが大きく、直線型に分類される被験者は下腿部の前への傾斜が大きくなっていることがわかった。このことから、体重心位置軌跡の形状から歩行戦略を評価できる可能性が示唆された。また、体重心位置を 2 階微分するこ

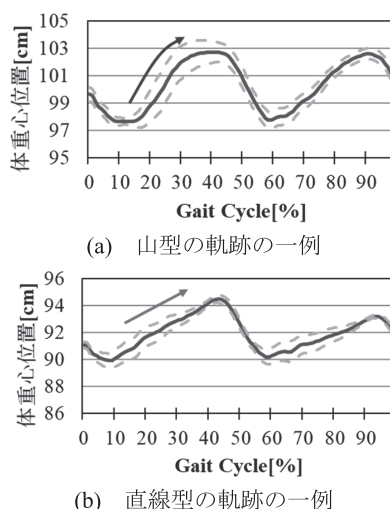


図 2 体重心の鉛直成分軌跡の形状の違い

とで推定する床反力については、ピーク値と歩行速度の関係で先行研究[3]と同様の結果が得られた。

#### 5. 結論

本研究では、慣性センサを用いた体重心位置軌跡の推定法を確立し、推定した体重心位置軌跡の運動評価への応用可能性を検討することを目的とした。まず、推定精度の確認を行い、直線歩行の左右成分を除いて比較的高い精度で推定が行えたことから、運動評価への適用可能性が示された。次に、直線歩行中の体重心の位置変化や推定した床反力について、全被験者で共通の傾向や先行研究と同様の結果を得た。また、下肢の運動との関係から、体重心位置軌跡の形状が歩行戦略の評価へ応用できる可能性が示唆された。

#### 文献

- 1) C. K. Balasubramanian, R. R. Neptune, et al., "Foot placement in a body reference frame during walking and its relationship to hemiparetic walking performance," Clinical Biomechanics, vol.25, no.5, pp.483-490 (2010)
- 2) 江原義弘, 山本澄子, "歩き始めと歩行の分析," 医歯薬出版 (2002)
- 3) T. M. Cook, K. P. Farrell, et al., "Effects of Restricted Knee Flexion and Walking Speed on the Vertical Ground Reaction Force During Gait," Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, vol.25, no.4, pp.236-244 (1997)